



**CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT**

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 101 40 208.2

**Anmeldetag:** 16. August 2001

**Anmelder/Inhaber:** Carl Zeiss SMT AG, 73447 Oberkochen/DE  
Erstanmelder: Carl Zeiss, 89518 Heidenheim/DE

**Bezeichnung:** Optische Anordnung

**IPC:** G 03 F, G 02 B

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 11. April 2005  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Hoib', is written over the printed name.

**Hoib**

PATENTANWÄLTE

**DR. ULRICH OSTERTAG**

**DR. REINHARD OSTERTAG**

EIBENWEG 10 D-70597 STUTTGART

TEL. +49-711-766845

FAX +49-711-7655701

-----  
Optische Anordnung  
-----

Anmelder: Carl Zeiss

89518 Heidenheim

Anwaltsakte: 7604.0

## Optische Anordnung

=====

05

Die Erfindung betrifft eine optische Anordnung, insbesondere eine Projektions-Belichtungsanlage der Mikrolithographie, insbesondere mit nicht rotationssymmetrischer Beleuchtung, z.B. mit schlitzförmigem Bildfeld,

10

a) mit mindestens einem optischen Element und

b) mit einer mindestens eine Korrekturstrahlungsquelle umfassenden Korrekturstrahlungseinrichtung, die dem optischen Element Korrekturstrahlung derart zuführt, daß die Abbildungseigenschaften des optischen Elements durch die Wärmebeauschlagung des optischen Elements mit Korrekturstrahlung korrigiert werden.

15

20

Eine derartige optische Anordnung ist aus der EP 0 823 662 A2 bekannt. Dort werden Korrekturstrahlen parallel zum Projektionslicht durch das Projektionsobjektiv geleitet. Die Korrekturstrahlung wird dabei von dem mindestens

25

einen optischen Element absorbiert. Dies führt zu einer Beeinflussung der Abbildungseigenschaften des optischen Elements, was zu Korrekturzwecken ausgenutzt wird.

Eine derartige Korrekturstrahlungseinrichtung ist in der Justage sehr aufwendig und schränkt das nutzbare Objektfeld ein, da in dessen Bereich die Korrekturstrahlen in die Projektionsoptik eingekoppelt werden. Eine Anpassung an sich ändernde Korrekturerfordernisse ist mit dieser Anordnung nur sehr eingeschränkt möglich.

35

Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine optische Anordnung der eingangs genannten Art derart weiterzubilden, daß eine flexible Korrektur der optischen Eigenschaften des mindestens einen optischen Elements  
05 ermöglicht ist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die Korrekturstrahlungseinrichtung eine Scaneinrichtung mit mindestens einem Scanspiegel umfaßt, wobei der Scan-  
10 spiegel derart bestrahlt und angesteuert ist, daß ein definierter Bereich einer optischen Oberfläche des optischen Elements mit Korrekturstrahlung abgescannt wird.

Erfindungsgemäß läßt sich über die Ansteuerung des Scanspie-  
15 gels der Einfluß der Korrekturstrahlungseinrichtung auf die Abbildungseigenschaften des optischen Elements flexibel gestalten. Als Freiheitsgrade für den Einfluß der Korrekturstrahlung auf die Abbildungseigenschaften stehen die Gestaltung des abzuscannenden Oberflächenbe-  
20 reichs des optischen Elements oder z.B. auch die ggf. lokal variierende Scangeschwindigkeit zur Verfügung. Auf diese Weise lassen sich auch stark von der Rotationssymmetrie abweichende Abbildungsfehler korrigieren. Nichtrotationssymmetrische Abbildungsfehler können z.B. durch  
25 eine Off-Axis-Beleuchtung, also eine zur optischen Achse der Projektionsoptik geneigte Beleuchtung, entstehen. Mit Hilfe der erfindungsgemäßen optischen Anordnung korrigierbar sind Abbildungsfehler, die vom Projektionslicht induziert werden, oder auch solche, die sich ohne Projektionslichteinfluß aus der Anordnung oder Ausgestaltung  
30 des mindestens einen optischen Elements ergeben.

Bevorzugt ist eine Mehrzahl von zusammenarbeitenden Korrekturstrahlungsquellen mit zugeordneten Scanspiegeln  
35 vorgesehen. Hierdurch können auch optische Flächen mit

Korrekturstrahlung beaufschlagt werden, die z.B. aus Gründen der Zugänglichkeit oder der Formgebung der optischen Fläche mit einer einzigen Korrekturstrahlungsquelle nicht erreicht werden können. Die Korrekturstrahlungseinrichtung kann in diesem Fall auch bei flachen Einstrahlwinkeln eingesetzt werden, z.B. wenn das optische Element direkt angestrahlt werden muß und der Abstand zwischen benachbarten optischen Elementen klein ist oder wenn Reflexe der Korrekturstrahlung in Richtung der optischen Achse der Projektionsoptik vermieden werden sollen. Auch eine stärker gekrümmte Oberfläche des optischen Elements läßt sich durch Verwendung mehrerer Korrekturstrahlungsquellen mit Korrekturstrahlung beleuchten. Zudem kann eine Ausführung der Korrekturstrahlungseinrichtung realisiert werden, bei der mehrere Korrekturstrahlen sich in einem Punkt auf der zu bestrahlenden Oberfläche des optischen Elements überlagern. In diesem Falle können die Intensitäten der einzelnen Korrekturstrahlen so ausgelegt sein, daß sich nur am Überlagerungspunkt eine Intensität mit merklicher Korrekturwirkung ergibt. Die Korrekturstrahlen können daher durch andere optische Elemente hindurchgeführt werden, ohne deren Abbildungseigenschaften spürbar zu beeinflussen. Schließlich kann bei Einsatz mehrerer Korrekturstrahlungsquellen auch eine Mehrzahl optischer Elemente bestrahlt werden.

Eine Einrichtung zur Intensitätsmodulation des Korrekturlichts kann vorgesehen sein, die mit der Scaneinrichtung zusammenarbeitet. Dies erhöht nochmals die Flexibilität der Korrekturstrahlungseinrichtung. Über die Variation der Intensität der Korrekturstrahlung über den abgescannten Oberflächenbereich läßt sich die thermische Beeinflussung der angestrahlten Oberfläche selektiv steuern.

Die Scaneinrichtung kann in Signalverbindung mit einer

die optische Anordnung überwachenden Sensoreinrichtung stehen, wobei die Scaneinrichtung die von der Sensoreinrichtung empfangenen Signale zur Ansteuerung des abzu-scannenden Bereichs des optischen Elements verarbeitet.

05 Dies erlaubt einen geregelten Betrieb der Korrekturstrahlungseinrichtung, bei der die Korrekturstrahlbeaufschlagung abhängig von ihrer Wirkung auf das optische Element gesteuert wird. Die Sensoreinrichtung kann beispielsweise eine Temperaturmesseinrichtung des mindestens einen

10 optischen Elements aufweisen. Ein Beispiel hierfür ist eine Wärmebildkamera.

Die Sensoreinrichtung kann die Abbildungseigenschaften der optischen Anordnung überwachen. Eine derartige Über-

15 wachung erlaubt die präziseste Kontrolle des Betriebs der Korrekturstrahlungseinrichtung.

Die Sensoreinrichtung kann ein positionsempfindlicher optischer Sensor sein. Derartige Sensoren sind, beispielsweise als Quadrantendetektoren, auch in sehr preisgünstigen

20 Varianten erhältlich.

Der Sensor kann ein CCD-Array sein. Ein derartiges Array hat eine hohe Positionsauflösung und weist zudem eine hohe

25 Lichtempfindlichkeit auf.

Die Sensoreinrichtung kann alternativ oder zusätzlich die Temperatur der optischen Anordnung, insbesondere des optischen Elements, überwachen. Das Ergebnis einer

30 derartigen Überwachung läßt sich mit Hilfe relativ einfacher Algorithmen in ein Eingangs-Steuersignal für die Scaneinrichtung umsetzen.

Die Sensoreinrichtung kann dabei eine Wärmebildkamera

35 umfassen. Eine Wärmebildkamera liefert eine ausreichende

Orts- und Temperaturauflösung für den angegebenen Überwachungs-  
zweck.

Bevorzugt ist die Korrekturstrahlungsquelle ein Laser.

- 05 Mit einem Laser läßt sich ein gut gebündelter Korrekturstrahl erzeugen, der auch bei beengten räumlichen Verhältnissen zielgenau geführt werden kann. Zudem lassen sich mit kommerziellen Lasern Wellenlängen erzeugen, die von den gängigen optischen Materialien für Projektionsoptiken von Projektionsbelichtungsanlagen gut absorbiert werden und sich daher für Korrekturstrahlen besonders gut eignen.

- Die Korrekturstrahlungsquelle kann in ihrer Wellenlänge veränderlich sein. Dies schafft einen zusätzlichen Freiheitsgrad für die Beeinflussung der Abbildungseigenschaften des mindestens einen optischen Elements durch die Korrekturstrahlung. Je nach der eingestellten Wellenlänge der Korrekturstrahlung und der hierfür resultierenden Absorption des Materials des mindestens einen optischen Elements ergibt sich eine bestimmte Eindringtiefe für die Korrekturstrahlung, welche sich in einer bestimmten Beeinflussung der Abbildungseigenschaften des optischen Elements äußert. Dies kann z.B. zur Feinabstimmung der Korrekturwirkung genutzt werden.

- Die Emissionswellenlänge der Korrekturstrahlungsquelle ist vorzugsweise größer als 4  $\mu\text{m}$ . Gebräuchliche optische Materialien für Projektionsoptiken von Projektionsbelichtungsanlagen weisen im Wellenlängenbereich oberhalb von 4  $\mu\text{m}$  Absorptionskanten auf. Bei noch größeren Wellenlängen absorbieren diese Materialien stark, so daß auch mit Korrekturstrahlen geringer Leistung ein relativ großer thermischer Eintrag in das bestrahlte optische Element gegeben ist und eine entsprechende Korrekturwirkung



resultiert. Bei einer Wellenlänge der Korrekturstrahlung im Bereich einer Absorptionskante läßt sich die Eindringtiefe durch eine moderate Wellenlängenänderung des Korrekturstrahls relativ stark variieren.

05

Die optische Anordnung kann mehrere optische Elemente umfassen, die von der Korrekturstrahlung durchstrahlt werden, wobei die Wellenlänge der Korrekturstrahlung und die Materialauswahl der optischen Elemente derart sind, daß nur das mindestens eine optische Element, dessen Abbildungseigenschaften korrigiert werden sollen, von der Korrekturstrahlung mit Wärme beaufschlagt wird. Bei einer derartigen Anordnung kann die Korrekturstrahlung durch die diese nicht oder nur wenig absorbierenden optischen Elemente in Richtung auf das mit Korrekturstrahlung zu bestrahlende optische Element geführt werden. Auch nicht direkt zugängliche optische Elemente können auf diese Weise mit Korrekturstrahlung beaufschlagt werden.

20

Die optische Anordnung kann mehrere optische Elemente umfassen und die Korrekturstrahlung kann so gerichtet sein, daß nur das mindestens eine optische Element, dessen Abbildungseigenschaften korrigiert werden sollen, von der Korrekturstrahlung bestrahlt wird. Bei dieser Anordnung ist die Materialauswahl der nicht mit Korrekturstrahlung beaufschlagten Elemente nicht eingeschränkt.

Das optische Element, dessen Abbildungseigenschaften korrigiert werden sollen, kann eine Absorptionsbeschichtung für die Korrekturstrahlung aufweisen. Mittels einer derartigen Beschichtung läßt sich eine Korrekturwirkung auch dann erzielen, wenn das Material, aus dem das optische Element besteht, selbst die Korrekturstrahlung nicht absorbiert. Die Abhängigkeit der Absorption der



Absorptionsbeschichtung von der Wellenlänge läßt sich so vorgeben, daß bei Verwendung einer durchstimbaren Korrekturstrahlungsquelle im Durchstimbereich unterschiedliche Absorptionen der Absorptionsbeschichtung vorliegen.

- 05 Auf diese Weise läßt sich über die Wellenlänge der Korrekturstrahlung die Korrekturwirkung auf das optische Element mit der Absorptionsbeschichtung zusätzlich beeinflussen.

- Die optische Anordnung kann in bekannter Weise eine
- 10 Projektionslichtquelle aufweisen, die eine projektionslichtempfindliche Schicht auf einem Substrat beleuchtet. In diesem Fall ist erfindungsgemäß die projektionslichtempfindliche Schicht so ausgeführt, daß sie von der Korrekturstrahlung nicht beeinflußt wird. Der Strahlengang
- 15 der Korrekturstrahlung kann frei gewählt werden und es muß nicht verhindert werden, daß die Korrekturstrahlung oder Reflexe hiervon das Substrat belichten.

- Das optische Element kann ein refraktives optisches Element
- 20 sein. Refraktive optische Elemente können mit Korrekturstrahlung derart beaufschlagt werden, daß sie diese entweder in einem Bereich nahe der Oberfläche oder erst über eine größere optische Weglänge innerhalb des optischen Elements absorbieren. Jedes dieser beiden unterschiedlichen
- 25 Absorptionsverhalten führt zu einer charakteristisch unterschiedlichen Korrekturwirkung einer entsprechenden Korrekturbestrahlung. Dies kann je nach zu beeinflussender Abbildungseigenschaft selektiv ausgenutzt werden.

- 30 Alternativ kan das optische Element für die Strahlung einer Projektionslichtquelle reflektierend sein. Die Beaufschlagung eines derartigen optischen Elements mit Korrekturstrahlung führt über die Deformation der das Projektionslicht reflektierenden optischen Oberfläche zu
- 35 einer optischen Korrekturwirkung, die wesentlich stärker

ist als die optische Korrekturwirkung einer sich in gleicher Weise deformierenden refraktiven optischen Oberfläche.

05 Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnung näher erläutert, es zeigen:

Figur 1: einen schematischen Ausschnitt einer Projektions-  
belichtungsanlage mit einer Korrekturstrahlungs-  
10 einrichtung;

Figuren 2 bis 4: Aufsichten auf ein optisches Element,  
welches mit Projektionslicht und mit Korrektur-  
strahlung beaufschlagt ist;  
15

Figur 5: einen zu Figur 1 ähnlichen Ausschnitt einer  
alternativen Projektionsbelichtungsanlage  
mit einer Korrekturstrahlungseinrichtung;

20 Figur 6: einen vergrößerten Ausschnitt aus einer Pro-  
jektionsoptik mit einer alternativen Korrektur-  
strahlungseinrichtung; und

Figur 7: einen vergrößerten Ausschnitt aus einer Pro-  
jektionsoptik mit einer nochmals alternativen  
Korrekturstrahlungseinrichtung.  
25

Die in Figur 1 insgesamt mit dem Bezugszeichen 1 bezeich-  
nete Projektionsoptik ist Teil einer Projektionsbelichtungs-  
30 anlage der Mikrolithographie. Die Projektionsoptik 1  
dient zur Abbildung einer Struktur einer in Figur 1 nicht  
dargestellten Maske auf einen Wafer 2. Aufgebaut ist die  
Projektionsoptik 1 aus einer Mehrzahl reflektiver und  
refraktiver optischer Elemente, deren genaue Anordnung  
35 hier nicht im einzelnen interessiert.

Zur Projektionsbelichtung wird die Projektionsoptik 1 von einem Projektionslichtbündel 3 durchtreten. Das Projektionslichtbündel 3 hat eine Wellenlänge im tiefen Ultraviolett, z.B. bei 157 Nanometer. Der Bündelquerschnitt des Projektionslichtbündels 3 im Bereich einer brechenden Fläche einer Linse 4 der Projektionsoptik 1 ist in den Figuren 2 bis 4 dargestellt: Das Projektionslichtbündel 3 durchtritt diese Fläche mit einem rechteckigen Querschnitt mit einem Seitenverhältnis von ca. 1:3.

Das Projektionslichtbündel 3 belichtet eine Fotoresistschicht 14 des Wafers 2, die auf einem Substrat 15 aufgebracht ist (vgl. die Ausschnittsvergrößerung in Figur 1).

Auf die in den Figuren 2 bis 4 dargestellte brechende Fläche der Linse 4 ist ein Korrekturstrahl 5 gerichtet (vgl. Fig. 1), der von einem Laser 6 erzeugt wird. Der Korrekturstrahl 5 hat eine Wellenlänge im mittleren infraroten Bereich (3 bis 30  $\mu\text{m}$ ), die vom Material der Linse 4 absorbiert wird. Der Laser 6 zur Erzeugung des Korrekturstrahls 5 kann beispielsweise eine Laserdiode sein. Auch andere Laserlichtquellen, z.B. ein HeNe-Laser bei 3,391  $\mu\text{m}$  oder ein durchstimmbarer frequenzverdoppelter  $\text{CO}_2$ -Laser (typischerweise durchstimmbar zwischen 4,6 und 5,8  $\mu\text{m}$ ) stehen in diesem Wellenlängenbereich zur Verfügung.

Die Fotoresistschicht 14 ist für die Korrekturstrahlwellenlänge unempfindlich.

Bevor der vom Laser 6 erzeugte Korrekturstrahl 5 auf die Linse 4 trifft, durchtritt er zunächst einen optischen Modulator 7, mit dem die Intensität des durchtretenden Strahls beeinflusst werden kann, und wird nachfolgend

von einem Scanspiegel 8 abgelenkt. Letzterer wird mechanisch von einer Scansteuerung 9 angesteuert. Eine derartige Scannertechnik ist z.B. für Laser-Displays bekannt.

05 Der Laser 6, der optische Modulator 7 sowie die Scan-  
steuerung 9 stehen über Signalleitungen mit einer zen-  
tralen Korrekturstrahlungssteuerung 10 in Verbindung.  
Über eine Datenleitung ist letztere mit einer CCD-Kamera  
11 verbunden. Diese wird mit einem Teilstrahl 12 des  
10 Projektionslichtbündels 3 belichtet, der aus dem Projek-  
tionslichtbündel 3 mit Hilfe eines im Strahlengang vor  
dem Wafer 2 angeordneten Strahlteilers 13 ausgekoppelt  
wird. Der Wafer 2 und die CCD-Kamera 11 sind dabei in  
zueinander äquivalenten Feldebene der Projektionsoptik  
15 1 angeordnet. Über eine weitere Datenleitung (Verbindung  
A-A) steht die Korrekturstrahlungseinrichtung 10 mit einer  
Wärmebildkamera 18 in Verbindung, deren Erfassungskegel  
19 in Fig. 1 mit gepunkteten Begrenzungslinien angedeutet  
ist. Die Wärmebildkamera 18 erfaßt die vom Korrekturstrahl  
20 5 bestrahlte Oberfläche der Linse 4.

Beispiele für Flächenbereiche 16', 16'', 16''' der Linse  
4, die mit dem Korrekturstrahl 5 abgescannt werden können,  
zeigen die Figuren 2, 3 und 4:

25 Der Flächenbereich 16' (vgl. Figur 2) ist nach außen  
hin durch einen Umkreis um den rechteckigen Querschnitt  
des Projektionslichtbündels 3 und nach innen durch das  
Projektionslichtbündel 3 begrenzt.

30 Der Flächenbereich 16'' (vgl. Figur 3) weist zwei recht-  
eckige Teilbereiche mit der gleichen Querschnittsfläche  
wie das Projektionslichtbündel 3 auf, deren Längsseiten  
an den gegenüberliegenden Längsseiten der rechteckigen  
35 Querschnittsfläche des Projektionslichtbündels 3 derart

angrenzen, daß sich die Teilbereiche mit der Querschnittsfläche des Projektionslichtbündels 3 zu einem Quadrat ergänzen.

- 05 Der Flächenbereich 16''' (vgl. Figur 4) weist zwei quadratische Teilbereiche auf, deren Seitenlängen derjenigen der kurzen Seite der rechteckigen Querschnittsfläche des Projektionslichtbündels 3 entsprechen und die an den Längsseiten der rechteckigen Querschnittsfläche  
10 des Projektionslichtbündels 3 derart angeordnet sind, daß sich diese Querschnittsfläche mit den beiden Teilbereichen zu einer kreuzförmigen Struktur mit vierzähliger Symmetrie ergänzen.

- 15 Der Korrekturstrahl 5 wird folgendermaßen eingesetzt:

Beim Betrieb der Projektionsbelichtungsanlage treten aufgrund von Restabsorption des Projektionslichts in den optischen Elementen der Projektionsoptik 1 Abbildungsfehler auf. Diese werden mittels der CCD-Kamera  
20 11 vermessen und die entsprechenden Meßdaten an die Korrekturstrahlungssteuerung 10 weitergeleitet. Die Restabsorption des Projektionslichts verursacht eine Erwärmung der optischen Elemente der Projektionsoptik.  
25 Die Erwärmung der Linse 4 wird mit Hilfe der Wärmebildkamera 18 vermessen und die entsprechenden Meßdaten werden ebenfalls an die Korrekturstrahlungssteuerung 10 übermittelt.

- 30 Letztere wertet die Meßdaten aus und setzt diese in entsprechende Steuersignale für die Scansteuerung 9, den optischen Modulator 7 und den Laser 6 um. Je nach der Art und der Symmetrie des gemessenen Abbildungsfehlers bzw. der gemessenen Erwärmung wählt die Korrekturstrahlungssteuerung 10 hierbei zunächst eine Gestalt eines Flächenbe-  
35

reichs 16 aus, in dem der Korrekturstrahl 5 auf die Linse 4 treffen soll. Anschließend wird die Scansteuerung 9 von der Korrekturstrahlungssteuerung 10 derart angesteuert, daß diese den Scanspiegel 8 zu entsprechenden Kippbewe-  
05 gungen zum Abscannen des ausgewählten Flächenbereichs 16 veranlaßt. Synchron zu dieser mechanischen Ansteuerung des Scanspiegels 8 steuert die Korrekturstrahlungssteuerung 10 den optischen Modulator 7 so an, daß eine bestimmte Intensitätsverteilung des Korrekturstrahls 5 innerhalb des  
10 Flächenbereichs 16 vorgegeben wird, welche anhand der Meßdaten der CCD-Kamera 11 zum Ausgleich des gemessenen Abbildungsfehlers bestimmt wurde.

Ferner steuert die Korrekturstrahlungssteuerung 10 den  
15 Laser 6 zur Optimierung der Wellenlänge des Korrekturstrahls 5 an. Über die Wellenlänge des Korrekturstrahls 5 läßt sich dessen Eindringtiefe in die Linse 4 vorgeben, da das Linsenmaterial eine unterschiedliche Absorption für Wellenlängen innerhalb des Durchstimmbereichs des  
20 Lasers 6 aufweist.

Mit Hilfe des den vorgegebenen Flächenbereich 16 (z.B. den Flächenbereich 16' gemäß Fig. 3) absceannenden Korrekturstrahls 5 wird, in der Regel durch eine Homogenisierung  
25 des Temperaturprofils der Linse 4, eine Kompensation von Abbildungsfehlern erzielt, die aufgrund von Restabsorptionen auftreten.

Alternativ zu einer Homogenisierung der Temperaturverteilung der Linse 4 kann auch eine gezielte Überkompensation  
30 durch entsprechende Bestrahlung der Linse 4 mit dem Korrekturstrahl 5 erzeugt werden, so daß der auf diese Weise in der Linse 4 erzeugte Abbildungsfehler den durch das Projektionslichtbündel 3 in den anderen optischen  
35 Elementen der Projektionsoptik 1 erzeugten Abbildungs-



fehler zumindest zum Teil kompensiert.

Eine zur Korrektur von Abbildungseigenschaften erforderliche  
Oberflächendeformation der Linse 4 kann auch durch gezieltes  
05 Erhitzen tieferer Stellen der Linse 4 durch einen entspre-  
chend konvergent eingestrahnten Korrekturstrahl 5 erfolgen.

Es ist nicht erforderlich, daß die CCD-Kamera 11 und  
die Wärmebildkamera 18 gleichzeitig installiert sind.  
10 Zum Betrieb der Projektionsbelichtungsanlage reicht  
prinzipiell eine dieser beiden Sensoreinrichtungen aus.

Die Figuren 5 bis 7 zeigen alternative Ausführungsformen  
einer Projektionsoptik mit einer Korrekturstrahlungsein-  
15 tung. Komponenten, die denjenigen entsprechen, die schon  
bezugnehmend auf die Figuren 1 bis 4 erläutert wurden,  
tragen um jeweils 100 erhöhte Bezugszeichen und werden  
nicht nochmals im einzelnen erläutert.

20 Figur 5 zeigt eine Teilansicht einer Projektionsbelich-  
tungsanlage mit einer Projektionsoptik 101, die vollstän-  
dig aus Spiegeln aufgebaut ist. Der Korrekturstrahl  
105 ist auf die reflektierende Oberfläche des Spiegels  
117 gerichtet. Bis auf den Laser 106 sind die weiteren  
25 Komponenten der Korrekturstrahlungseinrichtung, die zu  
denjenigen der Ausführung nach Figur 1 analog sind,  
weggelassen.

Figur 6 zeigt einen Teilausschnitt einer Projektionsop-  
30 tik 201 mit zwei Linsen 218, 219. Die der Linse 219  
zugewandte optische Oberfläche der Linse 218 wird von  
zwei Korrekturstrahlen 205', 205'' bestrahlt. Auf diese  
Weise ist diese trotz des in Bezug auf die bestrahlte  
Oberfläche recht flachen Einstrahlwinkels für mindestens  
35 einen Korrekturstrahl 205', 205'' überall zugänglich.



Die Korrekturstrahlen 205', 205'' werden von zwei separaten Lasern 206' und 206'' erzeugt. Alternativ ist es auch möglich, die beiden Korrekturstrahlen 205',  
05 205'' mit einem einzigen Laser und einer geeignet angeordneten Strahlteileranordnung zu erzeugen.

Die Korrekturstrahlen 205', 205'' werden in analoger Weise eingesetzt, wie dies in Zusammenhang mit den Figuren 1 bis 4 beschrieben wurde. Die den Korrekturstrahlen 205', 205'' jeweils zugeordneten Scanspiegel 208', 208'' werden hierbei von einer Korrekturstrahlungssteuerung (nicht dargestellt) derart angesteuert, daß sich die durch sie angestrahlten Teilflächenbereiche zu einem  
15 Flächenbereich ergänzen, wie er beispielhaft bezugnehmend auf die Figuren 2 bis 4 erläutert wurde. Zusätzlich kann bei der Verwendung mehrerer Korrekturstrahlen die relative Intensität der Korrekturstrahlen zueinander eingestellt werden und es kann mit einer teilweisen  
20 Überlappung der angestrahlten Teilflächenbereichen zusätzlich die Temperaturverteilung der angestrahlten Linse 218 beeinflußt werden.

Figur 7 zeigt eine weitere Variante einer Korrekturstrahlungseinrichtung. Dort ist eine Linse 304 als Teil einer ansonsten nicht dargestellten Projektionsoptik 301 gezeigt, deren eine optische Oberfläche von zwei Korrekturstrahlen 305', 305'' bestrahlt wird. Diese werden von zwei separaten Lasern 305', 306'' erzeugt und jeweils  
30 von einem Scanspiegel 308', 308'' umgelenkt. Bei dieser Variante der Korrekturstrahlungseinrichtung stellt die nicht dargestellte Korrekturstrahlungssteuerung sicher, daß die Korrekturstrahlen 305', 305'' beim Abscannen des zu bestrahlenden Flächenbereichs auf der Linse 304  
35 sich auf der zu bestrahlenden Oberfläche überlagern.

Die Intensität der Korrekturstrahlen setzt sich daher nur auf der zu bestrahlenden Oberfläche aus der Summe der Einzelintensitäten der Korrekturstrahlen 305', 305'' zusammen. Überall sonst im Strahlengang der Korrekturstrahlen 305', 305'' liegt nur die Intensität von jeweils einem der beiden Strahlen vor.

Alternativ zum Einsatz bei der Korrektur von strahlungsinduzierten Abbildungsfehlern können die oben beschriebenen Ausführungsformen der Korrekturstrahlungseinrichtung auch zur gezielten Justage der Projektionsoptik eingesetzt werden. Dabei wird mit der CCD-Kamera 11 der Abbildungsfehler der Projektionsoptik 1 gemessen, der unabhängig von einer Bestrahlung mit dem Projektionslichtbündel 3 vorliegt. Dieser Abbildungsfehler kann dann mit Hilfe des Korrekturstrahls 5 analog zum oben Beschriebenen korrigiert werden.

Die beschriebenen Korrekturstrahlungsrichtung kann auch zur Bestrahlung optischer Elemente eingesetzt werden, die aus Materialien bestehen, die die Korrekturstrahlen nicht oder nur schwach absorbieren. In diesem Falle wird auf dem mit Korrekturstrahlen zu bestrahlenden optischen Element eine optische Beschichtung vorgesehen, die für Projektionslicht durchlässig ist und die Korrekturstrahlen absorbiert. Bevorzugt wird eine derartige Beschichtung so ausgeführt, daß sie bei Verwendung eines durchstimmbaren Lasers 6 eine Absorptionskante im Durchstimmbereich aufweist. In diesem Fall läßt sich die Eindringtiefe des Korrekturstrahls in das optische Element besonders gut beeinflussen.

## Patentansprüche

=====

05

1. Optische Anordnung, insbesondere Projektions-Belichtungsanlage der Mikrolithographie, insbesondere mit nicht rotationssymmetrischer Beleuchtung, z.B. mit schlitzförmigem Bildfeld,

10

a) mit mindestens einem optischen Element und

b) mit einer mindestens eine Korrekturstrahlungsquelle umfassenden Korrekturstrahlungseinrichtung, die dem optischen Element Korrekturstrahlung derart zuführt, daß die Abbildungseigenschaften des optischen Elements durch die Wärmebeaufschlagung des optischen Elements mit Korrekturstrahlung korrigiert werden;

15

20 dadurch gekennzeichnet, daß

die Korrekturstrahlungseinrichtung (6 bis 13; 106, 108; 206, 208; 306, 308) eine Scaneinrichtung (8, 9, 10; 108) mit mindestens einem Scanspiegel (8) umfaßt, wobei der Scanspiegel (8; 108) derart bestrahlt und angesteuert ist, daß ein definierter Bereich (16) einer optischen Oberfläche des optischen Elements (4; 117; 204; 304) mit Korrekturstrahlung (5; 105; 205; 305) abgescannt wird.

25

30 2. Optische Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine Mehrzahl von zusammenarbeitenden Korrekturstrahlungsquellen (206', 206''; 306', 306'') mit zugeordneten Scanspiegeln (208', 208''; 308', 308'') vorgesehen ist.

35

3. Optische Anordnung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß eine Einrichtung (7) zur Intensitätsmodulation des Korrekturlichts vorgesehen ist, die mit der Scaneinrichtung (8, 9, 10) zusammenarbeitet.
- 05
4. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Scaneinrichtung (8, 9, 10) in Signalverbindung mit einer die optische Anordnung (1) überwachenden Sensoreinrichtung (11, 18) steht, wobei die Scaneinrichtung (8, 9, 10) die von der Sensoreinrichtung (11, 18) empfangenen Signale zur Ansteuerung des abzuscannenden Bereichs (16) des optischen Elements (4) verarbeitet.
- 10
5. Optische Anordnung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensoreinrichtung (11, 18) die Abbildungseigenschaften der optischen Anordnung (1) überwacht.
- 15
6. Optische Anordnung nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensoreinrichtung (11, 18) einen positionsempfindlichen optischen Sensor (11) umfaßt.
- 20
7. Optische Anordnung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor ein CCD-Array (11) ist.
- 25
8. Optische Anordnung nach einem der Ansprüche 4 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensoreinrichtung (11, 18) die Temperatur der optischen Anordnung (1), insbesondere der optischen Komponente (4), überwacht.
- 30
9. Optische Anordnung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensoreinrichtung (11, 18) eine Wärmebildkamera (18) umfaßt.
- 35
10. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden

Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Korrekturstrahlungsquelle (6; 106; 206; 306) ein Laser ist.

11. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden  
05 Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Korrekturstrahlungsquelle (6; 106; 206; 306) in ihrer Wellenlänge veränderlich ist.

12. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden  
10 Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Emissionswellenlänge der Korrekturstrahlungsquelle (6; 106; 206; 306) größer ist als 4  $\mu\text{m}$ .

13. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden  
15 Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die optische Anordnung (1) mehrere optische Elemente umfaßt, die von der Korrekturstrahlung (5) durchstrahlt werden, wobei die Wellenlänge der Korrekturstrahlung (5) und die Materialauswahl der optischen Elemente derart sind, daß nur das  
20 mindestens eine optische Element (4), dessen Abbildungseigenschaften korrigiert werden sollen, von der Korrekturstrahlung (5) mit Wärme beaufschlagt wird.

14. Optische Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis  
25 12, dadurch gekennzeichnet, daß die optische Anordnung (201) mehrere optische Elemente (204, 219) umfaßt und daß die Korrekturstrahlung (205) so gerichtet ist, daß nur das mindestens eine optische Element (204), dessen Abbildungseigenschaften korrigiert werden sollen, von der  
30 Korrekturstrahlung (205) bestrahlt wird.

15. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden  
Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das optische Element, dessen Abbildungseigenschaften korrigiert werden  
35 sollen, eine Absorptionsbeschichtung für die Korrektur-

. strahlung aufweist.

16. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, die eine Projektionslichtquelle aufweist,  
05 die eine projektionslichtempfindliche Schicht (14) auf einem Substrat (15) beleuchtet, dadurch gekennzeichnet, daß die projektionslichtempfindliche Schicht (14) so ausgeführt ist, daß sie von der Korrekturstrahlung (5) nicht beeinflußt wird.

10

17. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das optische Element (4; 204; 304) ein refraktives optisches Element ist.

15

18. Optische Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß das optische Element (117) für die Strahlung einer Projektionslichtquelle reflektierend ist.

## Zusammenfassung

=====

05

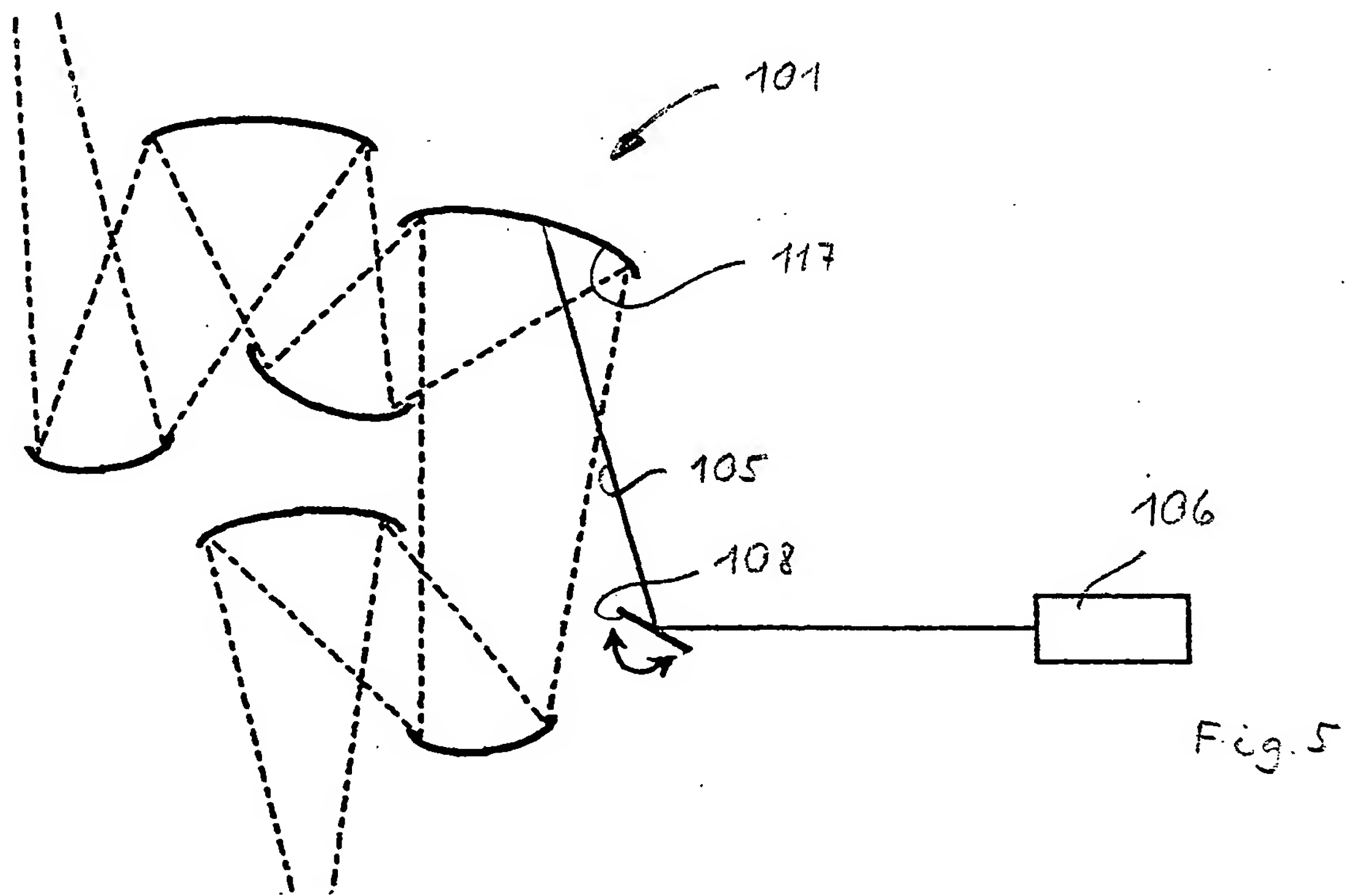
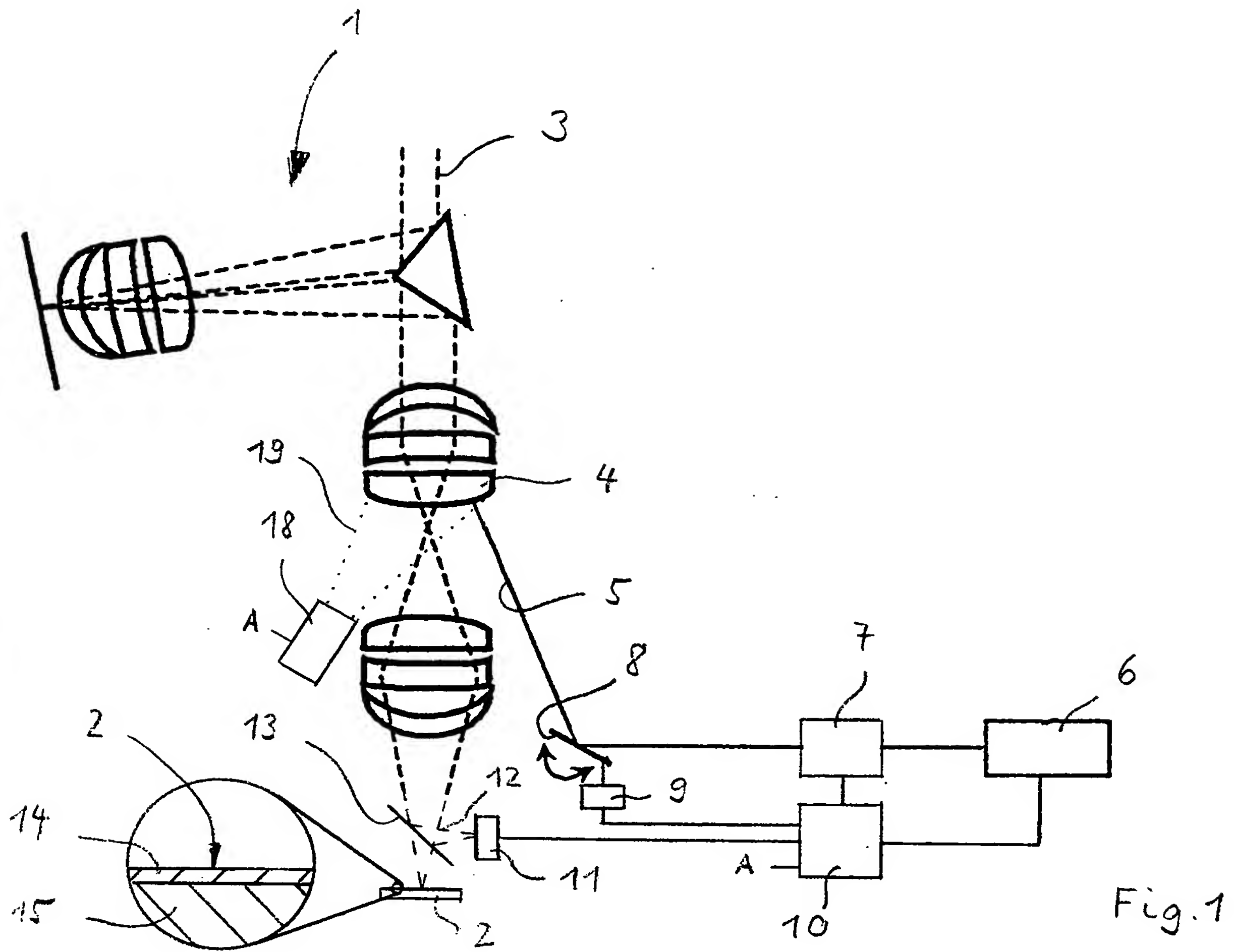
Eine optische Anordnung (1), insbesondere eine Projektionsbelichtungsanlage der Mikrolithographie, weist ein schlitzförmiges Bildfeld oder eine nicht rotationssymmetrische Beleuchtung (3) auf. Ferner umfaßt sie mindestens ein

10 optisches Element (4) und mindestens eine eine Korrekturstrahlungsquelle (6) umfassende Korrekturstrahlungseinrichtung (6 bis 13) die dem optischen Element (4) Korrekturstrahlung (5) derart zuführt, daß die Abbildungseigenschaften des optischen Elements (4) durch die Wärmebeaufschlagung des optischen Elements (4) mit Korrekturstrahlung  
15 (5) korrigiert werden. Die Korrekturstrahlungseinrichtung (6 bis 13), umfaßt eine Scaneinrichtung (8, 9, 10) mit mindestens einem Scanspiegel (8), wobei der Scanspiegel (8) derart bestrahlt und angesteuert ist, daß ein definierter Bereich einer optischen Oberfläche des optischen  
20 Elements (4) mit Korrekturstrahlung (5) abgescannt wird. Hierdurch lassen sich die Abbildungseigenschaften der optischen Anordnung (1) gezielt und flexibel korrigieren bzw. justieren.

25

(Figur 1)





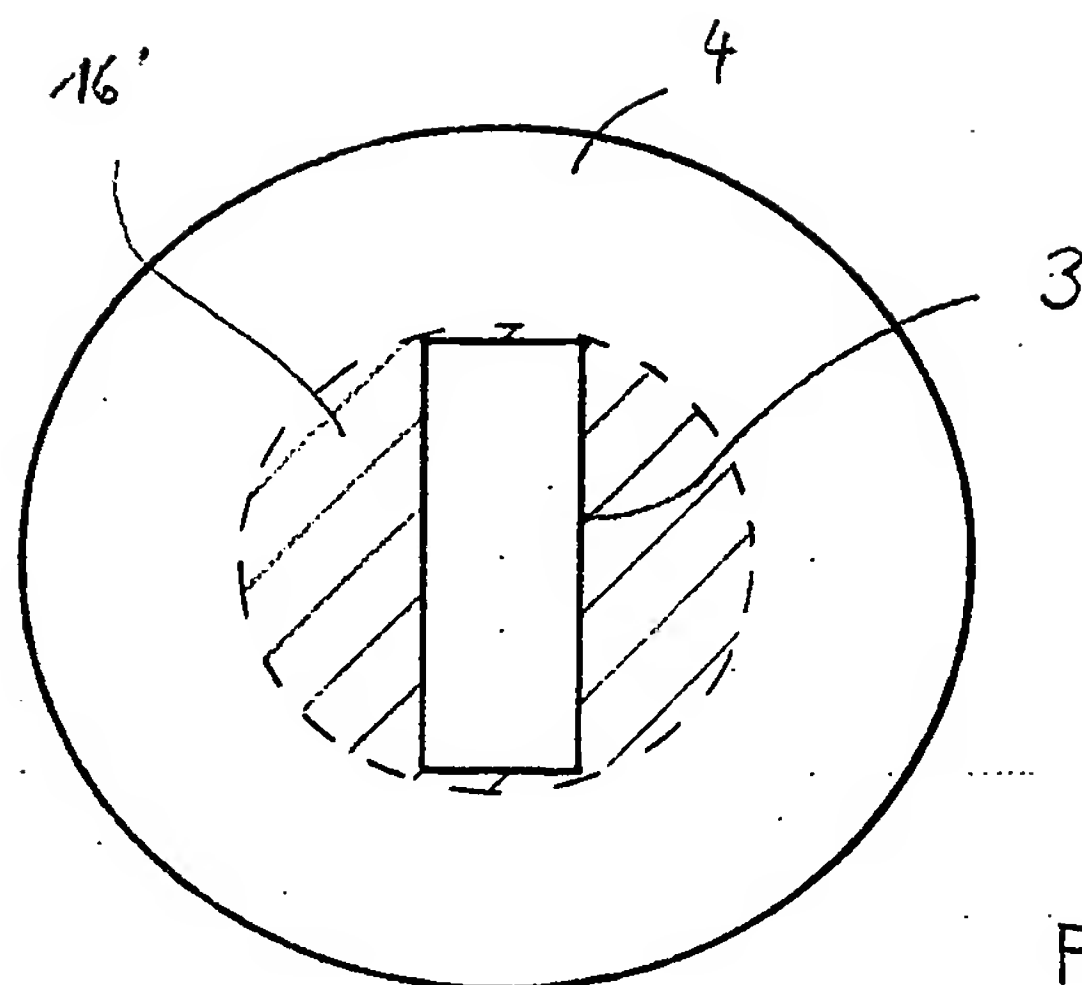


Fig. 2

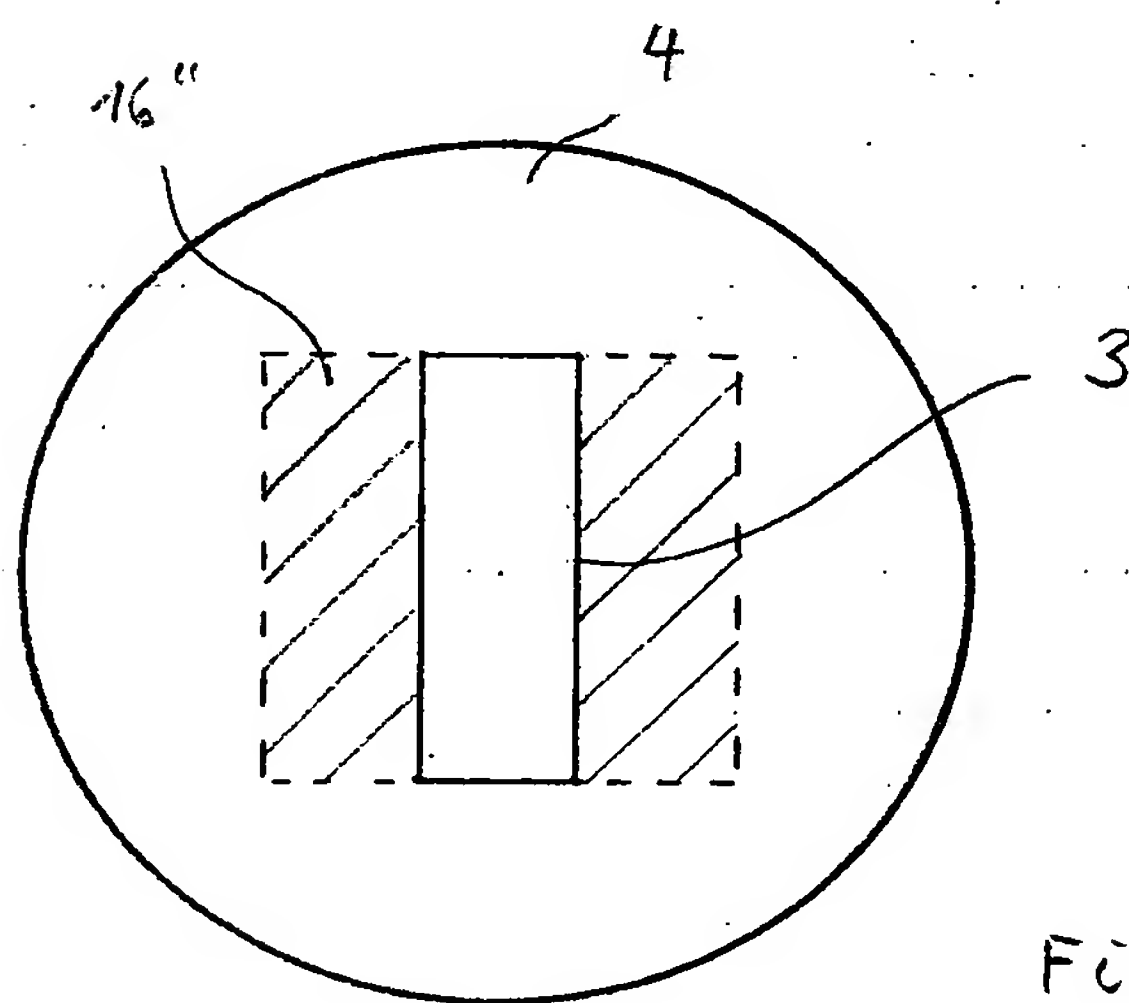


Fig. 3'

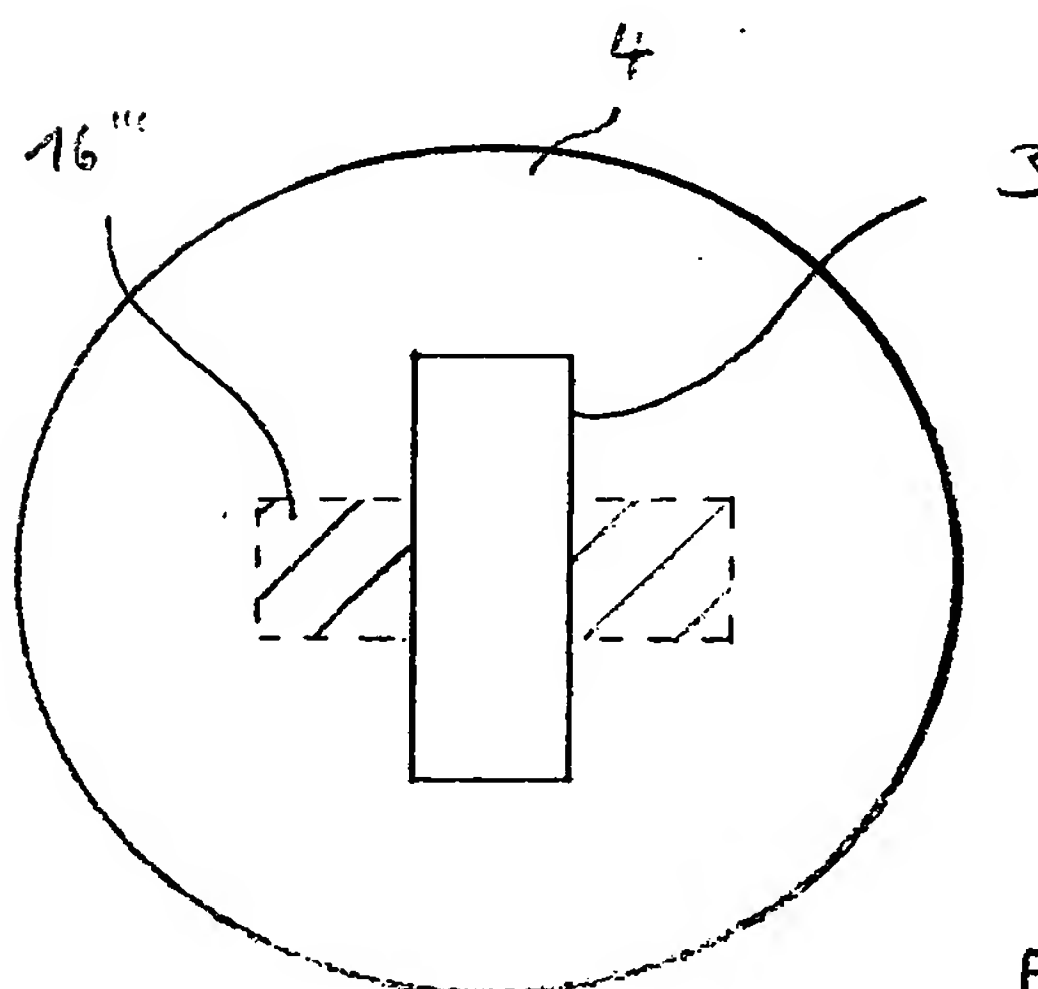
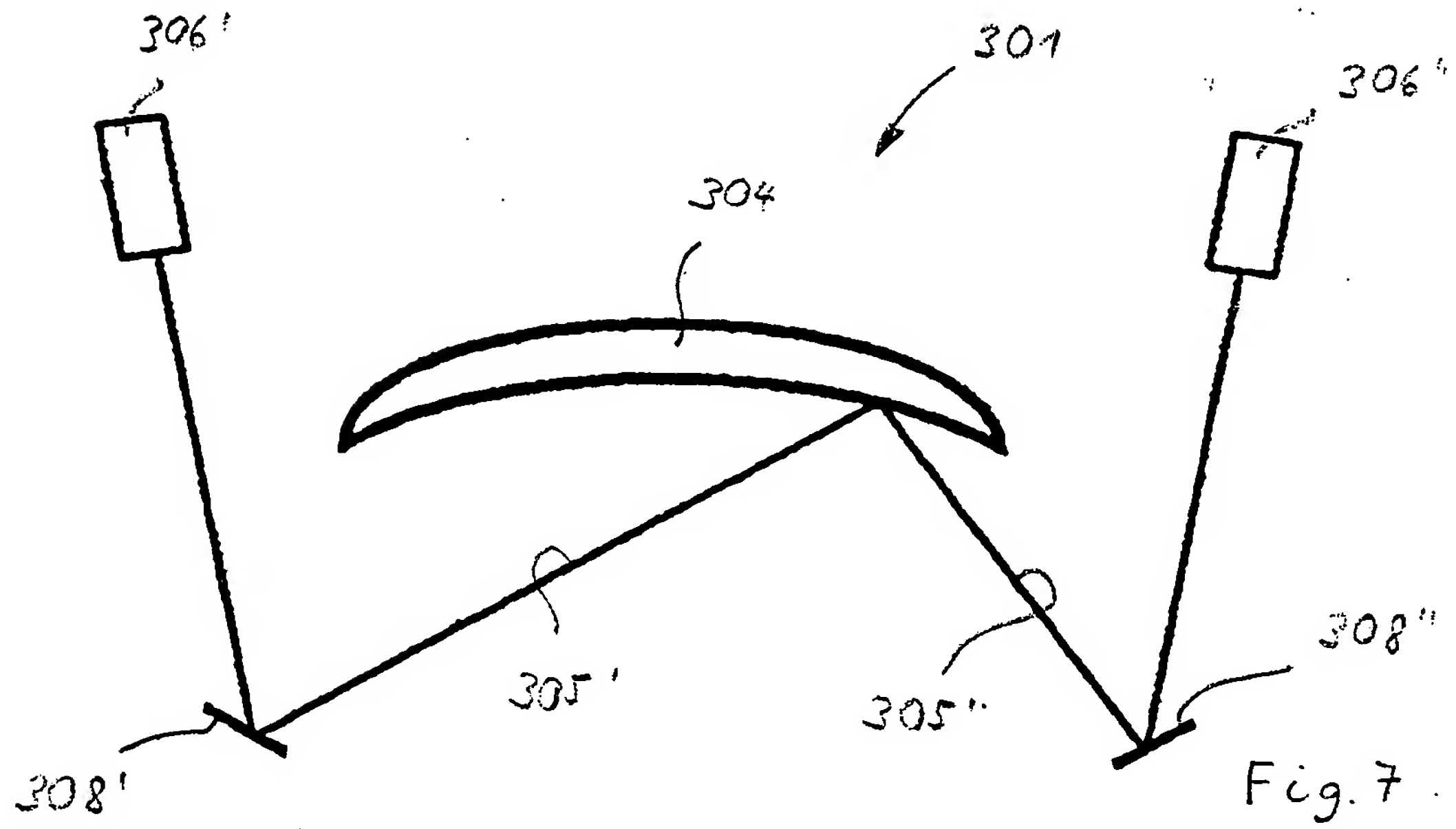
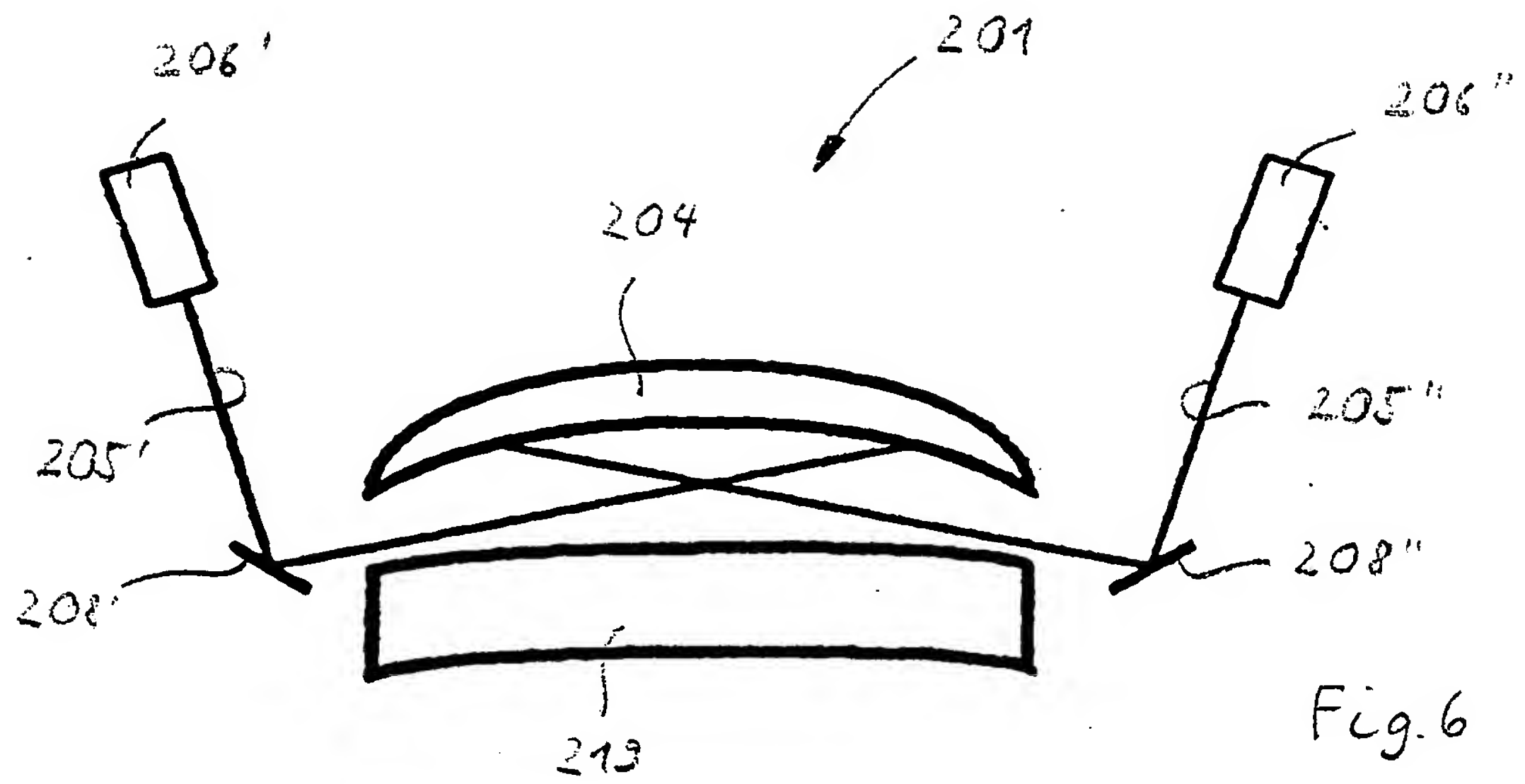


Fig. 4




IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

DECLARATION

I, Gernot Schwanhäußer, patent attorney of Ostertag & Partner, Patentanwälte, Eibenweg 10, D-70597 Stuttgart, Germany, do solemnly and sincerely declare as follows:

1. That I am well acquainted with the English and German languages;
2. That the following is a true translation into the English language of German Patent Application 101 40 208.2;
3. That all statements made herein of my own knowledge are true and that all statements made on information and belief are believed to be true;  
and further that these statements were made with the knowledge that willful false statements and the like so made are punishable by fine or imprisonment, or both, under Section 1001 of title 18 of the United States Code and that such willful false statements may jeopardise the validity of the application or any patent issued thereon.

Signed, this 7th day of June 2005

  
D-70597 Stuttgart, Germany

## Optical array

The invention relates to an optical array, in particular a projection exposure apparatus for microlithography, in particular with rotationally asymmetrical illumination, e.g. having a slot-shaped image field, comprising

- a) at least one optical element and
- 10 b) a correction radiation device including at least one correction radiation source, which correction radiation device supplies correction radiation to the optical element in such a way that the imaging characteristics of the optical element are corrected
- 15 by means of the heat supplied to the optical element by the correction radiation.

An optical array of this kind is known from EP 0 823 662 A2. In that array, correction beams are directed through the projection objective parallel to the projection light. The correction radiation is absorbed by the at least one optical element. This influences the imaging characteristics of the optical element, an effect which is utilised for correction purposes.

25

Such a correction radiation device is very complicated to adjust and restricts the usable object field, since the correction rays are coupled into the projection optical system in the region of the optical field. Only very

30 limited adaptation to changing correction requirements is possible with this arrangement.

It is therefore the object of the present invention further to develop an optical array of the above-mentioned type in such a way that flexible correction of the optical characteristics of the at least one optical element is made  
5 possible.

This object is achieved according to the invention in that the correction radiation device includes a scanning device having at least one scanning mirror, the scanning mirror  
10 being irradiated and driven in such a way that a defined portion of an optical surface of the optical element is scanned with correction radiation.

According to the invention the influence of the correction  
15 radiation device on the imaging characteristics of the optical element can be configured flexibly via driving of the scanning mirror. The configuration of the surface portion of the optical element to be scanned or, for example, the optionally locally variable scanning speed,  
20 are available as degrees of freedom for the influence of the correction radiation on the imaging characteristics. In this way even imaging errors which deviate widely from rotational symmetry can be corrected. Rotationally asymmetrical imaging errors may arise, e.g. through  
25 off-axis illumination, i.e. illumination inclined with respect to the optical axis of the projection optical system. Imaging errors which are induced by the projection light, as well as those which result from the arrangement or configuration of the at least one optical element  
30 without the influence of projection light, are correctable by means of the optical array according to the invention.

A plurality of cooperating correction radiation sources with associated scanning mirrors are preferably provided. Optical surfaces which, e.g. for reasons of accessibility or the shape of the optical surface, cannot be reached with a single correction radiation source can thereby be supplied with correction radiation. In this case the correction radiation device can also be used at flat angles of incidence, e.g. when the optical element must be irradiated directly and the distance between adjacent optical elements is small, or when reflections of the correction radiation in the direction of the optical axis of the projection optical system must be avoided. Even a more strongly curved surface of the optical element can be illuminated with correction radiation by using a plurality of correction radiation sources. In addition, it is possible to produce an embodiment of the correction radiation device in which a plurality of correction beams are superimposed at one point of the surface of the optical element to be irradiated. In this case the intensities of the individual correction beams can be so designed that an intensity having a perceptible correction effect is produced only at the point of superposition. The correction beams can therefore be directed through other optical elements without detectably influencing the imaging characteristics of same. Finally, when a plurality of correction radiation sources are used a plurality of optical elements can be irradiated.

A device for modulating the intensity of the correction light which cooperates with the scanning device may be provided. This further increases the flexibility of the correction radiation device. By varying the intensity of the correction radiation over the scanned surface portion,



the thermal influencing of the irradiated surface can be selectively controlled.

The scanning device may be in signalling connection with a sensor device monitoring the optical array, the scanning device processing the signals received from the sensor device in order to activate the portion of the optical element to be scanned. This permits controlled operation of the correction radiation device in which the supply of correction radiation is controlled in dependence on its effect on the optical element. The sensor device may include, for example, a temperature measuring device for the at least one optical element. An example of such a device is a thermal imaging camera.

15

The sensor device may monitor the imaging characteristics of the optical array. Such monitoring permits very high-precision control of the operation of the correction radiation device.

20

The sensor device may be a position-sensitive optical sensor. Such sensors are obtainable in very inexpensive variants, for example, as quadrant detectors.

25 The sensor may be a CCD array. Such an array has high positional resolution and in addition has high photosensitivity.

Alternatively or additionally, the sensor device may monitor the temperature of the optical array, in particular of the optical element. The result of such monitoring can be converted into an input control signal for the scanning device by means of relatively simple algorithms.

30

In this case the sensor device may include a thermal imaging camera. A thermal imaging camera delivers sufficient local and temperature resolution for the stated  
5 monitoring purpose.

The correction radiation source is preferably a laser. With a laser a well-focused correction beam which can be accurately targeted even in confined spatial conditions can  
10 be generated. In addition, wavelengths which are efficiently absorbed by commonly-used optical materials for projection optical systems of projection exposure apparatuses, and are therefore especially well-suited to correction beams, can be generated using commercially  
15 available lasers.

The correction radiation source may have a variable wavelength. This provides an additional degree of freedom for influencing the imaging characteristics of the at least  
20 one optical element by means of the correction radiation. Depending on the set wavelength of the correction radiation and the absorption of the material of the at least one optical element resulting therefrom, a specific penetration depth for the correction radiation is produced which  
25 manifests itself in a specific influencing of the imaging characteristics of the optical element. This can be utilised, for example, for fine tuning of the correction effect.

30 The emission wavelength of the correction radiation source is preferably greater than 4  $\mu\text{m}$ . Conventional optical materials for projection optical systems of projection exposure apparatuses have absorption edges in the

wavelength range above 4  $\mu\text{m}$ . At even greater wavelengths these materials absorb strongly, so that even with correction beams of low power heat induction into the irradiated optical element is relatively large, resulting in a corresponding correction effect. At a wavelength of the correction radiation in the vicinity of an absorption edge the penetration depth can be varied relatively strongly by a moderate change of the correction beam wavelength.

10

The optical array may include a plurality of optical elements through which the correction radiation passes, the wavelength of the correction radiation and the selection of the material of the optical elements being such that only the at least one optical element the imaging characteristics of which are to be corrected is supplied with heat by the correction radiation. In such an array the correction radiation can be directed through these non-absorptive or only slightly absorptive optical elements towards the optical element which is to be irradiated with correction radiation. Even optical elements which are not directly accessible can be supplied with correction radiation in this way.

25 The optical array may comprise a plurality of optical elements and the correction radiation may be so directed that only the at least one optical element the imaging characteristics of which are to be corrected is irradiated by the correction radiation. With this arrangement the selection of the material of the elements not supplied with correction radiation is not restricted.

30

- The optical element the imaging characteristics of which are to be corrected may have a coating absorptive for the correction radiation. By means of such a coating a correction effect can be achieved even if the material of which the optical element is made does not itself absorb the correction radiation. The dependence of the absorption by the absorptive coating on wavelength can be predefined such that, if a variable correction radiation source is used, different absorption rates of the absorption coating are present within the range of variation. In this way the correction effect on the optical element can be additionally influenced by the absorptive coating via the wavelength of the correction radiation.
- 15 The optical array may include in known fashion a projection light source which illuminates a projection-light-sensitive layer on a substrate. In this case the projection-light-sensitive layer is so constituted according to the invention that it is not influenced by the correction radiation. The beam path of the correction radiation can be freely selected and there is no need to prevent the correction radiation or reflections thereof from impinging on the substrate.
- 25 The optical element may be a refractive optical element. Refractive optical elements can be supplied with correction radiation in such a way that they absorb said radiation either in a region close to the surface or only over a larger optical path length within the optical element. Each of these different forms of absorption behaviour gives rise to a characteristically different correction effect of a corresponding correction radiation. This can be utilised

selectively, depending on the imaging characteristic to be influenced.

Alternatively, the optical element may be reflective for  
5 the radiation of a projection light source. Impingement of  
correction radiation on such an optical element gives rise,  
via the deformation of the optical surface reflecting the  
projection light, to an optical correction effect which is  
significantly stronger than the optical correction effect  
10 of a refractive optical surface which is not deformed in  
the same way.

Embodiments of the invention are elucidated in more detail  
below with reference to the drawings, in which:

15

Fig. 1 shows a schematic section of a projection  
exposure apparatus having a correction radiation  
device;

20 Figs. 2 to 4 are top views of an optical element which is  
supplied with projection light and with  
correction radiation;

Fig. 5 shows a section similar to that of Fig. 1 of an  
25 alternative projection exposure apparatus having  
a correction radiation device;

Fig. 6 shows an enlarged section of a projection optical  
system having an alternative correction radiation  
30 device, and

Fig. 7 shows an enlarged section of a projection optical system having a further alternative correction radiation device.

5 The projection optical system designated as a whole in Fig. 1 by reference numeral 1 forms part of a projection exposure apparatus for microlithography. The projection optical system 1 is used for imaging a structure of a mask (not shown in Fig. 1) on a wafer 2. The projection optical  
10 system 1 is composed of a plurality of reflective and refractive optical elements the precise individual arrangement of which is not of interest here.

For projection exposure, a projection light bundle 3 passes  
15 through the projection optical system 1. The projection light bundle 3 has a wavelength in the low ultraviolet range, e.g. 157 nanometres. The cross-section of the projection light bundle 3 in the region of a refractive surface of a lens 4 of the projection optical system 1 is  
20 represented in Figs. 2 to 4: the projection light bundle 3 passes through this surface with a rectangular cross-section having an aspect ratio of approx. 1:3.

The projection light bundle 3 exposes a photoresist  
25 layer 14 of the wafer 2, which is applied to a substrate 15 (cf. the enlarged section in Fig. 1).

Directed on to the refracting surface of the lens 4 represented in Figs. 2 to 4 is a correction beam 5 (cf.  
30 Fig. 1) which is generated by a laser 6. The correction beam 5 has a wavelength in the middle infrared range (3 to 30  $\mu\text{m}$ ), which is absorbed by the material of the lens 4. The laser 6 for generating the correction beam 5 may be,

for example, a laser diode. Other laser light sources, e.g. a HeNe laser of 3.391  $\mu\text{m}$  or a variable frequency-doubled  $\text{CO}_2$  laser (typically variable between 4.6 and 5.8  $\mu\text{m}$ ) are available in this wavelength range.

5

The photoresist layer 14 is insensitive to the correction beam wavelength.

Before the correction beam 5 generated by the laser 6 impinges on the lens 4 it first passes through an optical modulator 7 whereby the intensity of the beam passing through can be influenced, and is then deflected by a scanning mirror 8. The latter is mechanically driven by a scanning control unit 9. Scanner technology of this kind is known, e.g. for laser displays.

The laser 6, the optical modulator 7 and the scanning control unit 9 are connected via signal lines to a central correction radiation control unit 10. The latter is connected to a CCD 11 camera via a data line. Said CCD camera 11 is exposed by a partial beam 12 of the projection light bundle 3, which partial beam 12 is coupled out of the projection light bundle 3 by means of a beam splitter 13 arranged in the beam path upstream of the wafer 2. The wafer 2 and the CCD camera 11 are arranged in mutually equivalent field planes of the projection optical system 1. The correction radiation device 10 is connected via a further data line (connection A-A) to a thermal imaging camera 18 the coverage cone 19 of which is indicated by dotted boundary lines in Fig. 1. The thermal imaging camera 18 detects the surface of the lens 4 irradiated by the correction beam 5.



Examples of surface portions 16', 16'', 16''' of the lens 4 which can be scanned with the correction beam 5 are shown in Figs. 2, 3 and 4:

- 5 Surface portion 16' (cf. Fig. 2) is delimited on the outside by a circle circumscribed around the rectangular cross-section of the projection light bundle 3 and on the inside by the projection light bundle 3.
- 10 Surface portion 16'' (cf. Fig. 3) has two rectangular partial portions having cross-sectional areas equal to that of the projection light bundle 3, the long sides of which border the opposed long sides of the rectangular cross-sectional area of the projection light bundle 3 in such a
- 15 way that the partial portions combine with the cross-sectional area of the projection light bundle 3 to form a square.

- Surface portion 16''' (cf. Fig. 4) includes two square
- 20 partial portions the side-lengths of which correspond to those of the short sides of the rectangular cross-sectional area of the projection light bundle 3, and which are arranged on the long sides of the rectangular cross-sectional area of the projection light bundle 3 in such a
  - 25 way that this cross-sectional area combines with the two partial portions to form a cruciform structure having fourfold symmetry.

The correction beam 5 is deployed as follows:

30

During operation of the projection exposure apparatus imaging errors occur as a result of residual absorption of the projection light in the optical elements of the

projection optical system 1. These errors are measured by means of the CCD camera 11 and the corresponding measurements are transmitted to the correction radiation control unit 10. The residual absorption of the projection light causes heating of the optical elements of the projection optical system. The heating of the lens 4 is measured by means of the thermal imaging camera 18 and the corresponding measurements are likewise transmitted to the correction radiation control unit 10.

10

The latter evaluates the measurement data and converts same into corresponding control signals for the scanning control unit 9, the optical modulator 7 and the laser 6. Depending on the type and symmetry of the imaging error measured or of the heating measured, the correction radiation control unit 10 initially selects a configuration of a surface portion 16 within which the correction beam 5 is to impinge on the lens 4. The scanning control unit 9 is then activated by the correction radiation control unit 10 in such a way that the latter causes the scanning mirror 8 to perform corresponding rocking motions to scan the selected surface portion 16. Synchronously with this mechanical driving of the scanning mirror 8, the correction radiation control unit 10 activates the optical modulator 7 in such a way that a specific intensity distribution of the correction beam 5 within the surface portion 16 is predefined, said intensity distribution being determined on the basis of the measurement data of the CCD camera 11 so as to compensate the imaging error measured.

30

In addition, the correction radiation control unit 10 activates the laser 6 to optimise the wavelength of the correction beam 5. The penetration depth of the correction

beam 5 in the lens 4 can be predefined via the wavelength of the correction beam 5, since the lens material has differing absorption for wavelengths within the range of variation of the laser 6.

5

Through scanning of the predefined surface portion 16 (e.g. surface portion 16' in Fig. 3) by the correction beam 5, compensation of imaging errors occurring as a result of residual absorptions is achieved, as a rule, by

10 homogenising the temperature profile of the lens 4.

Alternatively to homogenisation of the temperature distribution of the lens 4, a specified over-compensation can be produced by appropriate irradiation of the lens 4 with the correction beam 5, so that the imaging error thus produced in the lens 4 at least partially compensates the imaging error produced in the other optical elements of the projection optical system 1 by the projection light bundle 3.

20

A surface deformation of the lens 4 required for correction of imaging characteristics may also be effected by specified heating of deeper portions of the lens 4 by irradiation with a suitably convergent correction beam 5.

25

It is not necessary for the CCD camera 11 and the thermal imaging camera 18 to be installed at the same time. In principle, one of these two sensor devices is sufficient for operation of the projection exposure apparatus.

30

Figs. 5 to 7 show alternative embodiments of a projection optical system having a correction radiation device. Components corresponding to those already explained with

reference to Figs. 1 to 4 carry reference numerals increased by 100 and are not elucidated again in detail.

Fig. 5 is a partial view of a projection exposure apparatus having a projection optical system 101 composed entirely of mirrors. The correction beam 105 is directed on to the reflecting surface of the mirror 117. Apart from the laser 106, the other components of the correction radiation device analogous to those of the embodiment according to Fig. 1 have been omitted.

Fig. 6 shows a partial section of a projection optical system 201 having two lenses 218, 219. The optical surface of the lens 218 facing towards the lens 219 is irradiated by two correction beams 205', 205''. In this way said lens 218 is at all points accessible to at least one correction beam 205', 205'', despite the very flat angle of incidence on the surface irradiated.

The correction beams 205', 205'' are generated by two separate lasers 206' and 206''. Alternatively, it is possible to generate both correction beams 205', 205'' with a single laser and a suitably arranged beam splitter arrangement.

25

The correction beams 205', 205'' are deployed in a manner analogous to that described in connection with Figs. 1 to 4. The scanning mirrors 208', 208'' associated respectively with correction beams 205', 205'' are so activated by a correction radiation control unit (not shown) that the partial surface portions irradiated thereby combine to form a surface portion as explained by way of example with reference to Figs. 2 to 4. In addition, if a

plurality of correction beams are used, the relative intensity of the correction beams can be adjusted and the temperature distribution of the irradiated lens 218 can be additionally influenced by a partial overlapping of the irradiated partial surface portions.

Fig. 7 shows a further variant of a correction radiation device. In this case a lens 304 is shown as part of a projection optical system 301 (not otherwise illustrated), one optical surface of which is irradiated by two correction beams 305', 305''. Said correction beams 305', 305'' are generated by two separate lasers 306', 306'' and are deflected by respective scanning mirrors 308', 308''. In this variant of the correction radiation device the correction radiation control unit (not shown) ensures that, in scanning the surface portion on the lens 304 to be irradiated, the correction beams 305', 305'' are superimposed on one another on the surface to be irradiated. The intensity of the correction beams is therefore composed of the sum of the individual intensities of the correction beams 305', 305'' only on the surface to be irradiated. At all other points in the beam path of the correction beams 305', 305'' only the intensity of one of the two beams is present.

25

Alternatively to their use in correcting radiation-induced imaging errors, the above-described embodiments of the correction radiation device may also be used for specified adjustment of the projection optical system. In this case the imaging error of the projection optical system 1, which error is present independently of irradiation with the projection light bundle 3, is measured with the CCD camera 11. Said imaging error can then be corrected using

the correction beam 5 in a manner analogous to that described above.

The correction radiation device which has been described  
5 can also be used for irradiating optical elements  
consisting of materials which absorb the correction beams  
either not at all or only weakly. In this case an optical  
coating which is transparent to projection light but which  
absorbs the correction beams is provided on the optical  
10 element to be irradiated with the correction beams. Such a  
coating is preferably implemented in such a way that, if a  
variable laser 6 is used, it has an absorption edge within  
the range of variation. In this case the depth of  
penetration of the correction beam into the optical element  
15 can be influenced especially effectively.

## Claims

1. Optical array, in particular a projection exposure apparatus for microlithography, in particular with rotationally asymmetrical illumination, e.g. having a slot-shaped image field, comprising
  - a) at least one optical element and
  - b) a correction radiation device including at least one correction radiation source, which correction radiation device supplies correction radiation to the optical element in such a way that the imaging characteristics of the optical element are corrected by means of the heat supplied to the optical element by the correction radiation,

characterised in that the correction radiation device (6 to 13; 106, 108; 206, 208; 306, 308) includes a scanning device (8, 9, 10; 108) having at least one scanning mirror (8), the scanning mirror (8; 108) being irradiated and driven in such a way that a defined portion (16) of an optical surface of the optical element (4; 117; 204; 304) is scanned with correction radiation (5; 105; 205; 305).
2. Optical array according to claim 1, characterised in that a plurality of cooperating correction radiation sources (206', 206''; 306', 306'') with associated scanning mirrors (208', 208''; 308', 308'') are provided.



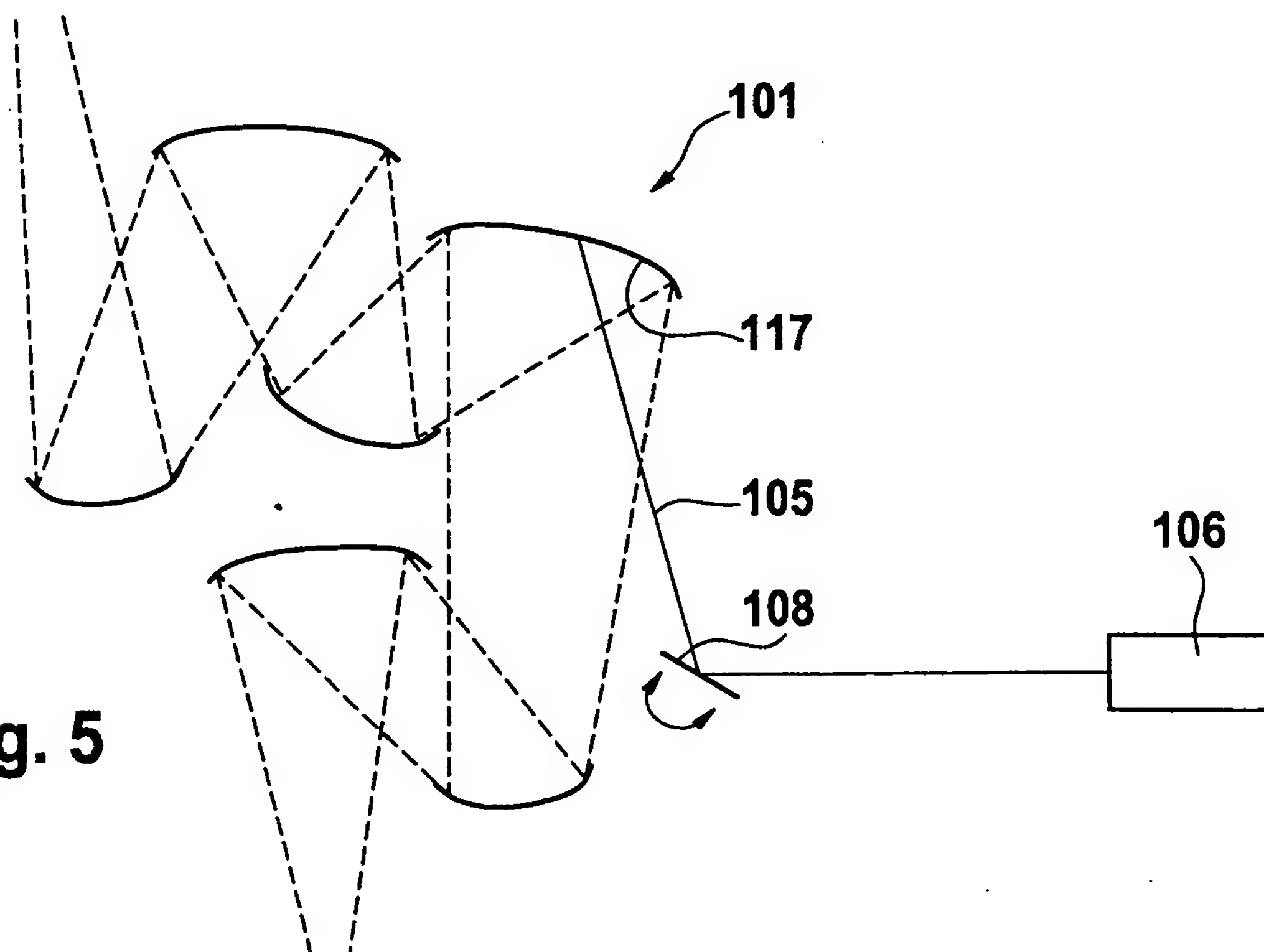
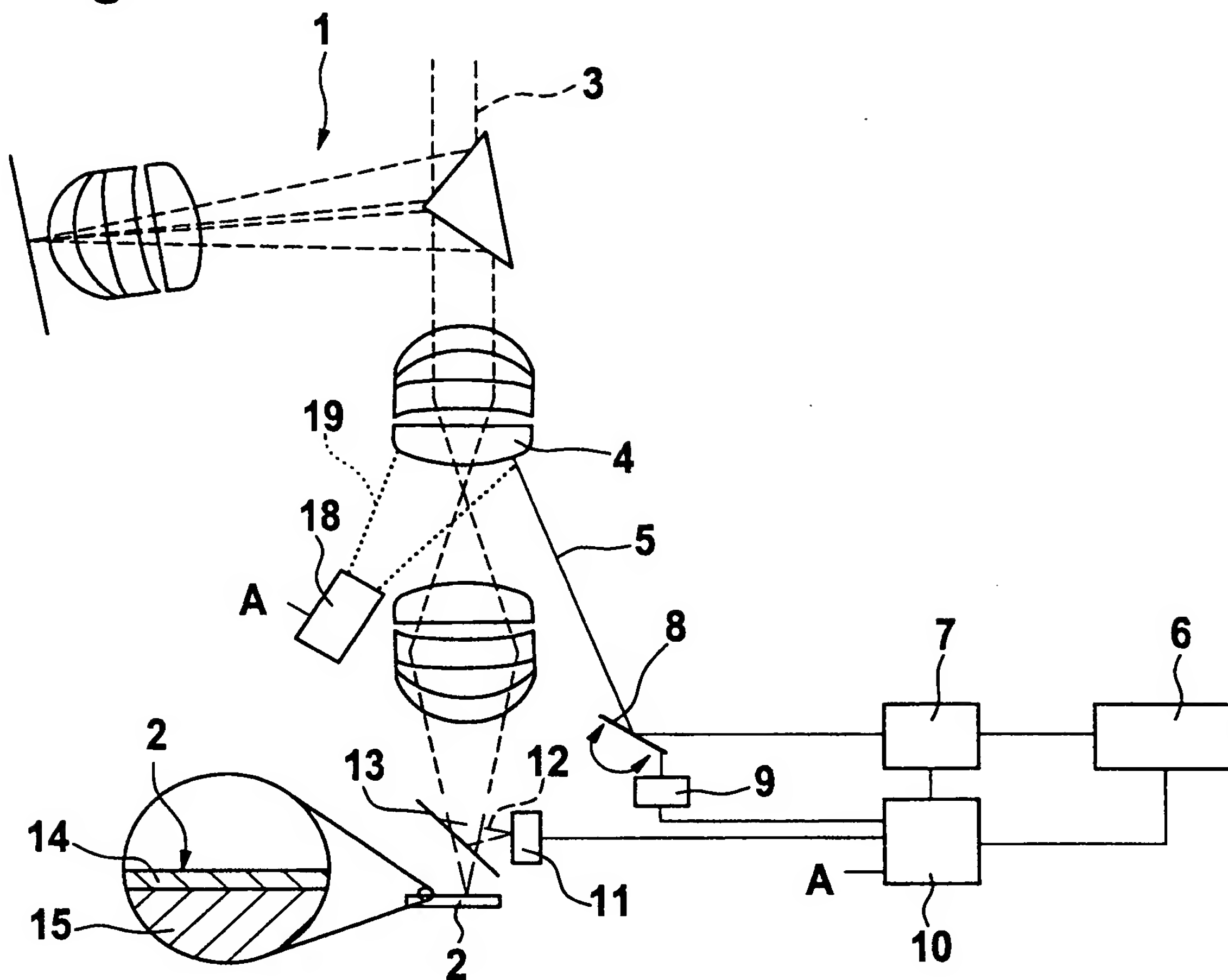
3. Optical array according to claim 1 or 2, characterised in that a device (7) which cooperates with the scanning device (8, 9, 10) is provided for modulating the intensity of the correction light.
- 5 4. Optical array according to any one of the preceding claims, characterised in that the scanning device (8, 9, 10) is in signalling connection with a sensor device (11, 18) which monitors the optical arrangement  
10 (1), the scanning device (8, 9, 10) processing the signals received from the sensor device (11, 18) for activating the portion (16) to be scanned of the optical element (4).
- 15 5. Optical array according to claim 4, characterised in that the sensor device (11, 18) monitors the imaging characteristics of the optical array (1).
6. Optical array according to claim 4 or 5, characterised  
20 in that the sensor device (11, 18) includes a position-sensitive optical sensor (11).
7. Optical array according to claim 6, characterised in that the sensor is a CCD array (11).
- 25 8. Optical array according to any one of claims 4 to 7, characterised in that the sensor device (11, 18) monitors the temperature of the optical array (1), in particular of the optical components (4).
- 30 9. Optical array according to claim 8, characterised in that the sensor device (11, 18) includes a thermal imaging camera (18).

10. Optical array according to any of one of the preceding claims, characterised in that the correction radiation source (6; 106; 206; 306) is a laser.
- 5
11. Optical array according to any one of the preceding claims, characterised in that the wavelength of the correction radiation source (6; 106; 206; 306) is variable.
- 10
12. Optical array according to any one of the preceding claims, characterised in that the emission wavelength of the correction radiation source (6; 106; 206; 306) is greater than 4  $\mu\text{m}$ .
- 15
13. Optical array according to any one of the preceding claims, characterised in that the optical array (1) includes a plurality of optical elements through which the correction radiation (5) passes, the wavelength of the correction radiation (5) and the material selection of the optical elements being such that only the at least one optical element (4) the imaging characteristics of which are to be corrected is supplied with heat by the correction radiation (5).
- 20
- 25
14. Optical array according to any one of claims 1 to 12, characterised in that the optical array (201) includes a plurality of optical elements (204, 219) and in that the correction radiation (205) is so directed that only the at least one optical element (204) the imaging characteristics of which are to be corrected is irradiated by the correction radiation (205).
- 30

15. Optical array according to any one of the preceding claims, characterised in that the optical element the imaging characteristics of which are to be corrected has a coating absorptive for the correction radiation.
- 5
16. Optical array according to any one of the preceding claims, comprising a projection light source which illuminates a projection-light-sensitive layer (14) on a substrate (15), characterised in that the
- 10 projection-light-sensitive layer (14) is so constituted that it is not influenced by the correction radiation (5).
17. Optical array according to any one of the preceding claims, characterised in that the optical element (4; 204; 304) is a refractive optical element.
- 15
18. Optical array according to any one of claims 1 to 16, characterised in that the optical element (117) is
- 20 reflective for the radiation of a projection light source.

**Fig. 1**

1 / 3



**Fig. 5**

Fig. 2

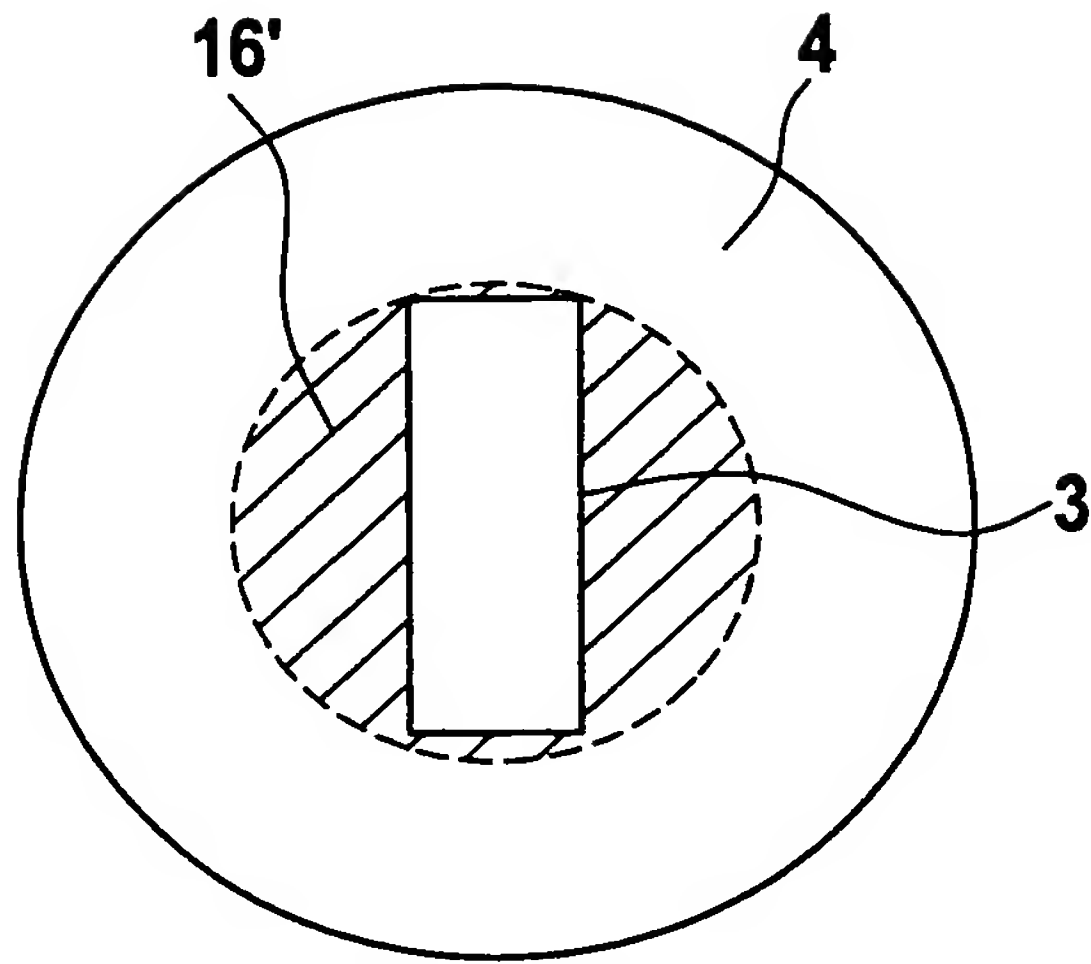


Fig. 3

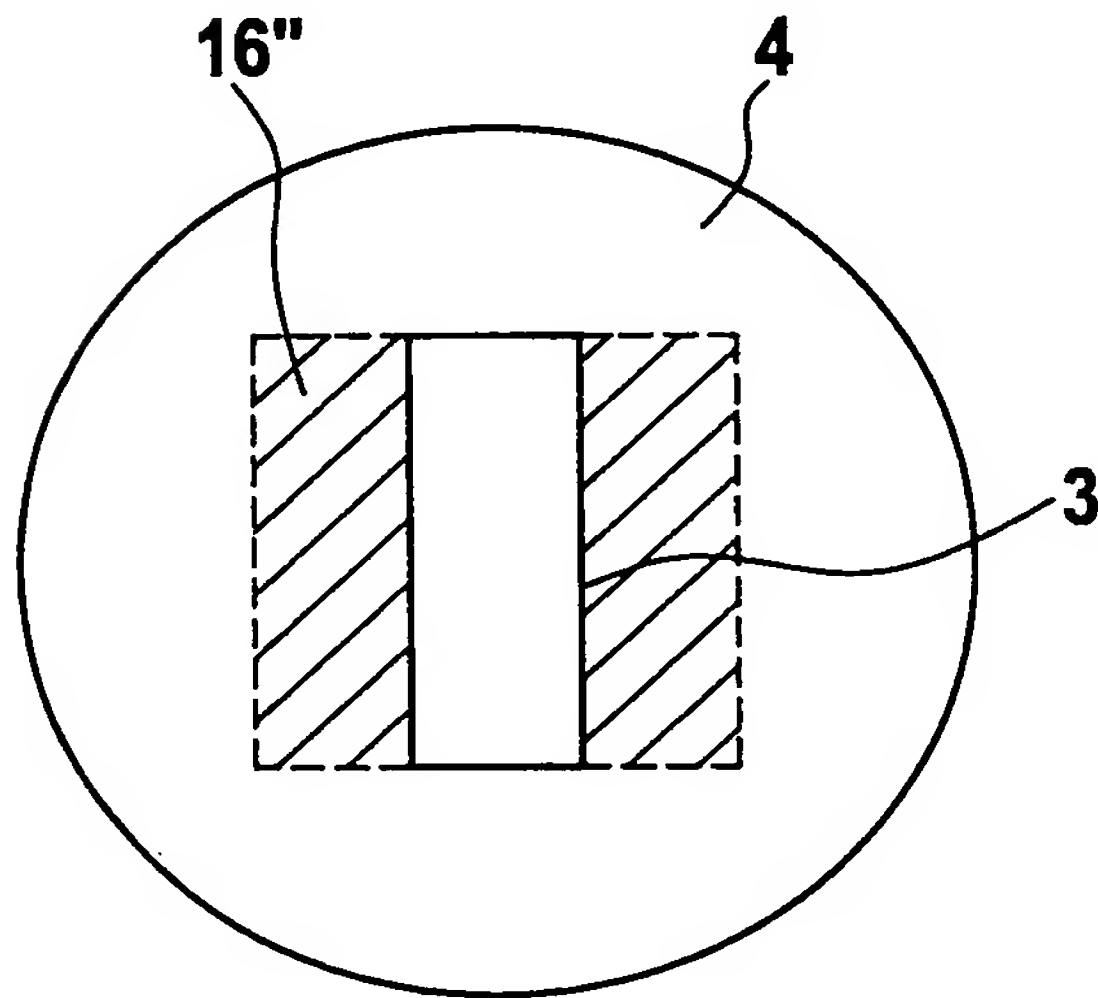


Fig. 4

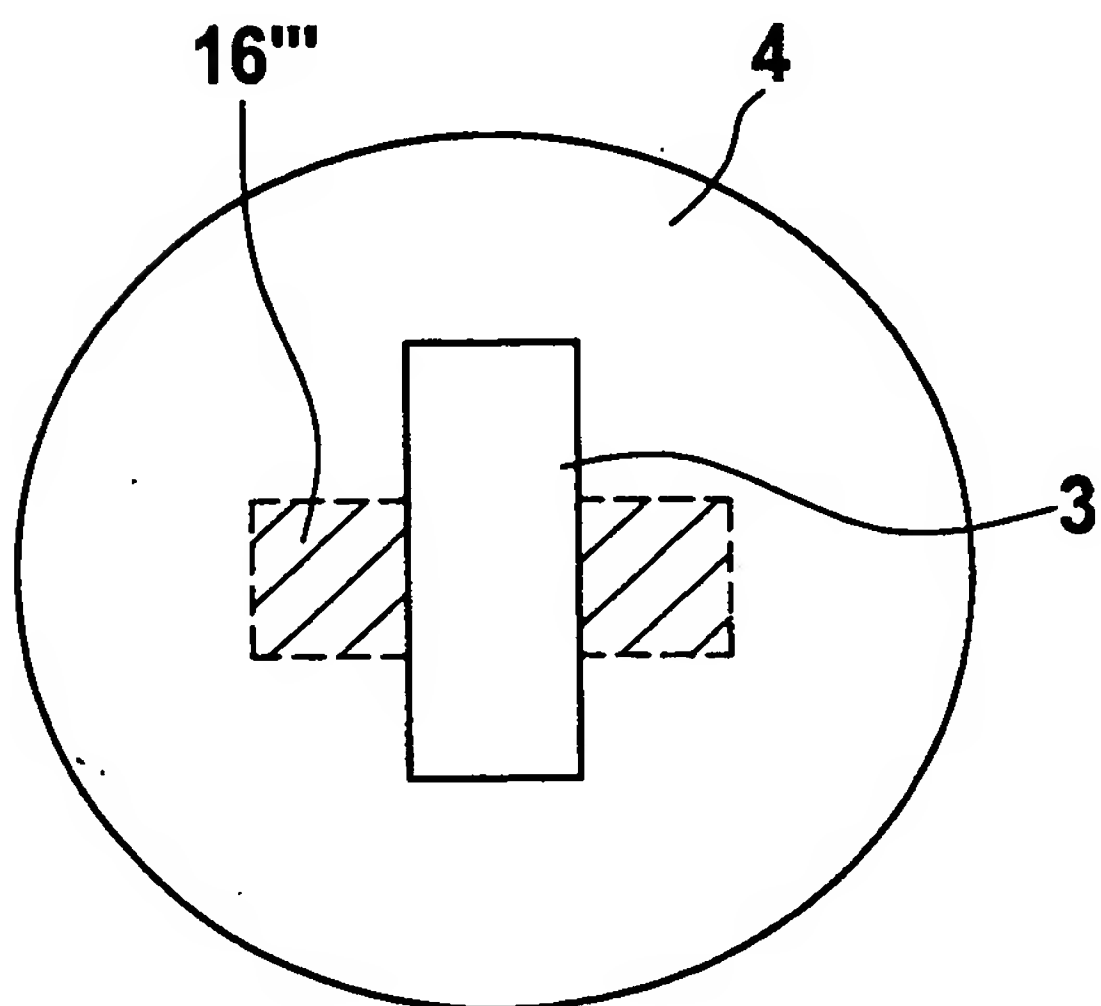


Fig. 6

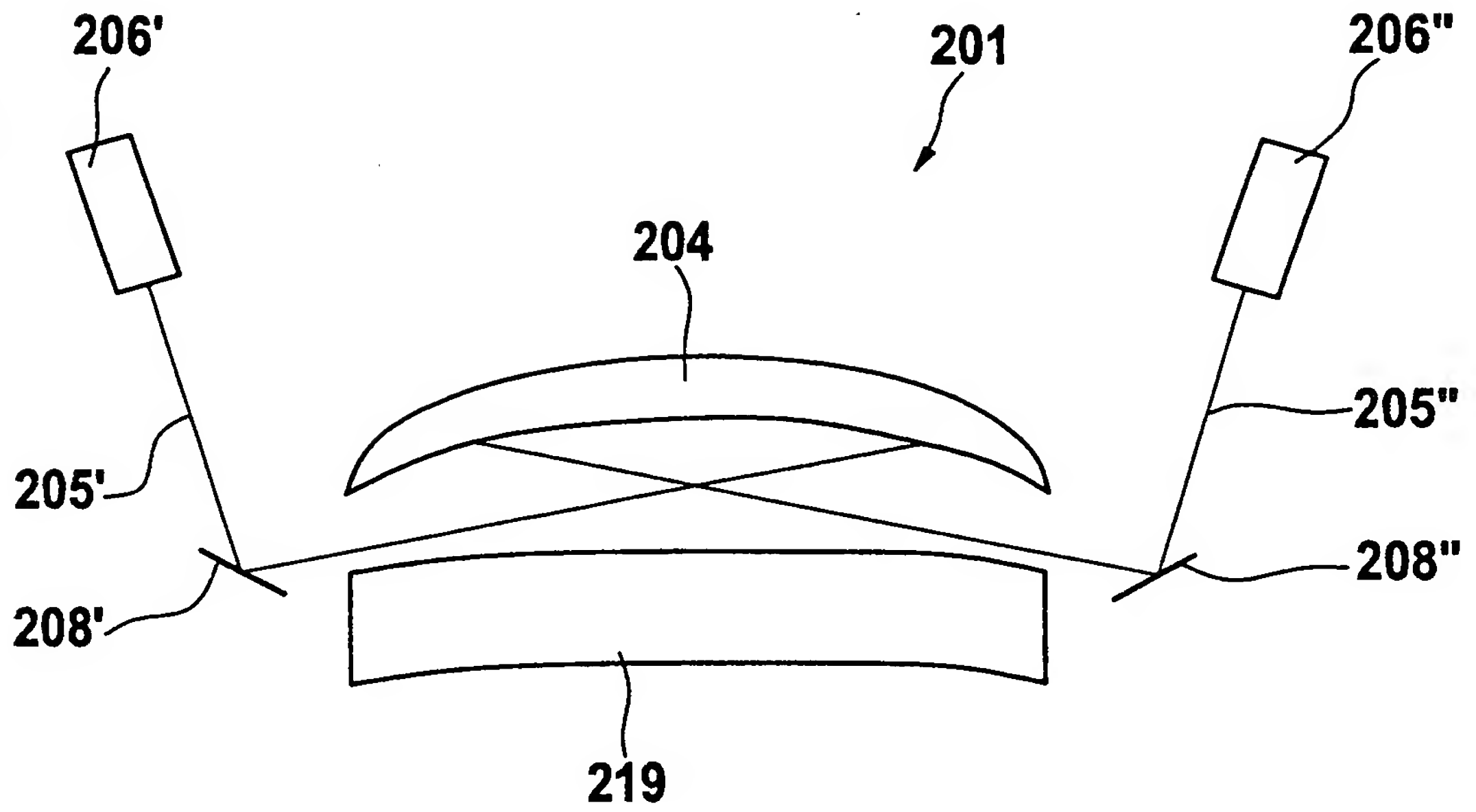


Fig. 7

